

# 人工智能和大数据驱动的机动车排放监管体系探析

万方

上海市环境监测中心,上海 200235

**摘要:**以机动车排放监控平台为主要技术手段的机动车排放监管方式越来越广泛地被国内环境管理部门采用,其有效提高了环境管理效能。但随着信息技术的发展和管理要求的提高,该方式人力成本高、数据利用率低、存在信息孤岛等问题逐渐显现。针对现代城市机动车污染管理特征,可建设以人工智能与大数据分析技术为驱动的“天地车人”一体化监管体系;借助机器学习、智能识别等人工智能技术方法,实现城市尺度下的机动车污染监管需求大数据场景转化,降低人工投入,提高管理效率;通过深化大数据分析技术应用,建设机动车污染防治大数据资源库,构建机动车污染防治辅助决策体系,推动实现智慧决策、智慧监管、智慧执法,提升机动车污染监管效率和效果,丰富空气污染治理衍生应用。

**关键词:**机动车污染;排放监管;人工智能;大数据分析

**中图分类号:**X506 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-6002(2025)01-0027-07

**DOI:**10.19316/j.issn.1002-6002.2025.01.04

## Analysis of the Vehicle Emission Supervision System Based on the Artificial Intelligence and Big Data Technology

WAN Fang

Shanghai Environmental Monitoring Center, Shanghai 200235, China

**Abstract:**The regulatory approach based on the vehicle emission monitoring information platforms is increasingly widely adopted by domestic environmental management departments, which effectively improved the environmental management efficiency. However, with the development of information technology and the improvement of management requirements, its shortcomings such as high labor costs, low data utilization, and information barrier have gradually emerged. Focusing on the characteristics of modern urban vehicle pollution management, this study proposes that an integrated regulatory system involving the “sky, earth, vehicles, and humans” could be constructed, which driven by artificial intelligence technology and big data analysis technology: (1) with the help of artificial intelligence technology methods such as machine learning and intelligent recognition, the transformation of big data scenarios for motor vehicle pollution control needs can be achieved at the urban scale, reducing labor investment and improving management efficiency; (2) the application of big data analysis technology need to be deepen to build the big data resource inventory for motor vehicle pollution prevention and control and the decision-making assistance system, which is conducive to promoting the implementation of smart decision-making, smart regulation, and smart law enforcement, improving the efficiency and effectiveness of motor vehicle pollution regulation, and generating rich applications for air pollution control.

**Keywords:**vehicle pollution; emission supervision; artificial intelligence; big data analysis

2013—2023年,我国机动车保有量从2.32亿辆增长到了4.35亿辆,年均增速达到了6.5%<sup>[1]</sup>。《第二次全国污染源普查公报》显示,2017年全国机动车氮氧化物(NO<sub>x</sub>)排放量约占全国NO<sub>x</sub>排放总量的33.3%<sup>[2]</sup>。机动车大量排放NO<sub>x</sub>、碳氢化合物(HC)等污染物是导致秋冬季细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)污染和夏季臭氧(O<sub>3</sub>)污染的重要原因之一<sup>[3]</sup>。另外,机动车排放的废气对人体呼吸、神经及心脑血管等系统可造成直接伤害,增加人体罹患癌症和其他疾病的概率<sup>[4]</sup>。因此,近

些年来,相关管理部门对机动车排放的管控力度日益加大,尤其是对重型柴油货车的污染排放控制,甚至上升到了国家层面。2021年中共中央、国务院发布《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》,2022年生态环境部等15部门联合印发《深入打好重污染天气消除、臭氧污染防治和柴油货车污染治理攻坚战行动方案》,说明机动车污染防治已成为为国家生态环境保护策略的重要内容之一。同时,“双碳”目标是党中央和国务院作出的重大战略决策,也是实现中华

收稿日期:2023-07-04;修订日期:2024-04-08

第一作者简介:万方(1971-),男,浙江宁波人,本科,工程师。

民族永续发展的必然选择。交通运输行业作为继热电生产和工业生产后的第三大碳排放源,其碳排放量占全国碳排放总量的10%~14%,并且目前尚未脱离上升周期<sup>[5]</sup>,进而使得以减少机动车碳排放为代表的移动源排放控制再次成为各界关注的重点。2022年发布的《减污降碳协同增效实施方案》,2023年发布的《空气质量持续改善行动计划》等文件均提出,要推进移动源大气污染物排放和碳排放协同治理。因此,必须进一步深化移动源管理,加强对机动车排放的管控。

机动车具有分散性大、流动性强、污染排放难以溯源、管理主体分散多元等特点。尽管各城市积极开展了车辆型式核准、在用车排放检测、集中执法检查、遥感监测等一系列机动车排气监管工作,但由于具体监管工作涉及生态环境、交通、市场监管等多个部门,不同部门监管数据间缺乏联动,未能达到良好的智慧化管理水平。

本文梳理了现代城市机动车排气监管现状与特征,聚焦交通运输行业信息化手段,结合智慧环保治理思路,提出了以人工智能和大数据分析技术为驱动的机动车排放监管体系构建思路,旨在实现对机动车污染物排放的更加精细化、动态化、智慧化控制和治理。

## 1 机动车排放监管现状

### 1.1 机动车排放监管手段概述

中共中央、国务院在2018年发布的《中共中央 国务院关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》中指出,要以开展柴油货车超标排放专项整治为抓手,建设“天地车人”一体化的机动车排放监控系统。生态环境部在《2019年全国大气污染防治工作要点》中也提出,要加强移动源环境监管能力建设。目前,随着机动车排放监控技术的发展,全国各地积极探索移动源信息化管控举措,针对不同类型机动车监管业务建设了各类排放监控平台,初步形成了“天地车人”一体化的机动车排放监控体系。这是一种结合现场执法与在线监测的综合监管体系,其中“天”指机动车遥感监测,“地”指环保检验,“车”指柴油车远程在线监控、机动车排放检验与维护(I/M)联网监控,“人”指路检路查、入户抽查等<sup>[6]</sup>。

机动车遥感监测是指在城市主要道路上安装

遥感监测设备,依据光谱吸收的原理测定各污染物的相对体积分数,然后以此为基础计算排放浓度,进而判断通过道路的车辆的排放是否符合标准要求。机动车遥感监测可以实现车辆不停车快速检测尾气,但建设、维护费用高昂,导致点位布设有限,无法实现全路段监测。机动车环保检验是指车主需将机动车定期送至环保检测机构进行排放检测,检测不合格则不得上路行驶,进而督促车主加强对机动车的维护与保养。同时,要求机动车环保检测机构排气检测过程、设备及人员信息等需通过计算机联网进行全过程监控备案,以加强对检验机构的日常监管。通常,机动车定期检验的周期较长(一般为6个月至6年),难以保证机动车在全生命周期内均达到排放要求。因此,生态环境管理部门往往会针对城市的重点路段、重点区域及集中停放的柴油货车进行重点抽检,主要包括路检路查和入户抽检。路检路查是指检测人员使用便携式设备对在城市道路中随机拦截的车辆进行尾气检测,发现超标车辆则开具罚单并要求其进行维修;入户检查则是检测人员使用便携式设备随机入户开展车辆检查,除尾气检测外通常还会开展车载诊断(OBD)系统检查、尿素和油品质量检查。柴油车远程在线监测是指利用OBD系统对柴油车进行实时监控,利用定位、无线传输等技术读取车辆运行状态、位置、尿素液位及NO<sub>x</sub>排放情况等信息,有利于及时发现超标车辆并督促其整改,同时可摸排出车辆集中停放地、加油处,进而加强相应监管<sup>[7]</sup>。I/M制度是指汽车排放检验机构(I站)对检验不合格车辆出具检验报告,通知车主前往具有资质的汽车排放性能维修机构(M站)进行维护修理。超标车辆只有经过M站维修达标并上传检测报告,再经同一家I站复检合格后,方可上路行驶。借助I/M制度可实现对超标车辆的闭环管理<sup>[8]</sup>。

与此同时,各地依托信息化技术也在探索新的机动车污染管控举措。如佛山市搭建了黑烟车智能监控识别平台,在2018年对7484宗黑烟车闯禁行违法行为实施了有效抓拍;杭州市在近5万辆重型柴油车上安装了OBD系统,对进行“云”体检且体检结果“良好”的车辆免于上线排放检验。

### 1.2 现阶段机动车排放监管特征

各类机动车污染监管手段对比如表1所示。整体而言,当前机动车排放管控呈现以下

特征:

一是以人工为主。路检路查、入户抽查、环保检验等是由执法人员/检测人员在固定或半固定场所开展检测, OBD 远程在线监测数据分析、机动车年检信息审核等是由环境管理部门在线上实施操作, 手段和方式相对被动。此外, 对执法人员/检测人员的专业能力要求较高; 实际监管成本较高, 人力投入大, 但受到人员数量限制, 路检路查无法实现样本全覆盖; 抽检车辆多处于移动状态, 入户检查时可能“扑空”。

二是尚处于信息化建设初期。一体化的监管体系建设近些年才受到重视, 目前已基本实现了对原始数据资源的收集和汇总, 但尚未建立系统化机制, 距离实现智能化、智慧化监管还需一定时间。一方面表现为各类业务系统相对分散, 存在信息孤岛, 数据间缺少联动, 难以得到监管对象的概貌, 对实现有效监管的指导性不足<sup>[9]</sup>; 另一方面表现为数据分析存在盲区, 数据再利用率低, 无法用大数据、云计算等技术支撑机动车管理决策、支持具体监管行为<sup>[10]</sup>。

表 1 机动车污染监管手段对比<sup>[11]</sup>

Table 1 Comparison of the supervision measures for motor vehicle pollution

名称	技术核心	时间维度	空间维度
遥感监测	光谱吸收原理 (固定工况)	任何时间 (连续监测)	固定点位 (城市重点路段)
环保检验	加载减速法、双怠速法等 (固定工况)	固定周期	固定地点 (年检站)
路检路查	自由加速法、OBD 诊断、油品及 尿素抽查等	半固定周期 (根据管理部门工作计划开展)	半固定地点 (城市重点路段)
入户抽查	(简单工况)		半固定地点 (车辆集中停放地、物流中心等)
I/M 制度	I 站与 M 站信息共享, 超标车辆闭环管理	任何时间	固定地点 (年检站、有资质的维修站)
OBD 远程在线监测	实时监测 (实时行驶工况)	任何时间 (连续监测)	任何地点 (连续监测)

## 2 人工智能和大数据驱动的机动车排放监管体系构建

目前, 我国已逐步进入信息科技时代。加强信息技术应用作为提升环境污染治理效果的有效手段, 有助于引领机动车排放监管由传统以人工为主的方式向数字化、智慧化方向转化。建立融合在线监测、大数据及智能算法等技术方法的机动车全方位综合监管体系, 主要包括: 借助智能识别、机器学习等人工智能技术, 实现城市尺度下的机动车污染管控需求大数据场景转化, 提高管理效率; 搭建一体化机动车污染防治监管平台, 系统化汇集“天地车人”数据, 打通信息孤岛, 深挖数据价值, 赋能监管决策。基于人工智能和大数据分析技术的机动车污染监管思路如图 1 所示。

### 2.1 人工智能技术在机动车排放监管中的应用场景

人工智能技术主要侧重于算法, 是利用计算机或其控制的机器模拟、延伸和扩展人类智能<sup>[12]</sup>。人工智能技术可实现智能信息检索、模式

识别以及复杂数据逻辑处理<sup>[13-14]</sup>等, 其中机器学习及图像识别等技术有利于推动实现机动车排放智慧化与智能化监管。

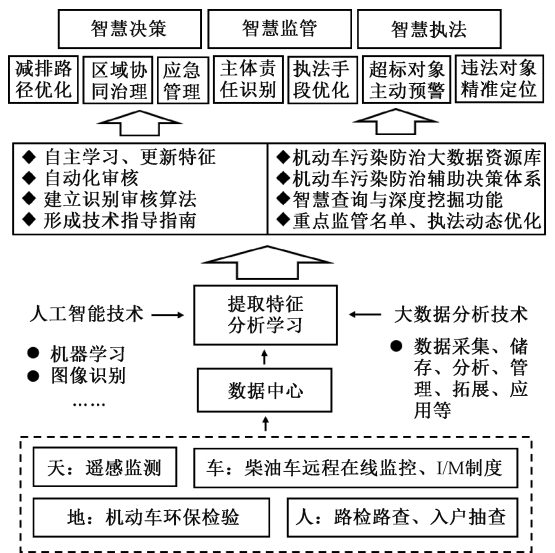


图 1 基于人工智能和大数据分析技术的机动车污染监管思路

Fig. 1 The vehicle pollution supervision based on artificial intelligence and big data analysis technology

### 2.1.1 机器学习

机器学习,顾名思义为让计算机学会学习,通过大量数据样本对其进行训练,使之能够模拟人类获取知识的方式建立相应的模型,实现识别和判断、获取经验并进行总结<sup>[15-16]</sup>。目前,机器学习的应用场景众多,如:对运行参数进行优化,改善选择性催化还原(SCR)脱硝系统喷氨流量,实现火电厂NO<sub>x</sub>减排<sup>[17]</sup>;识别高光谱遥感影像中的物体间的细微差异,从而精准识别森林植被并进行分类<sup>[18]</sup>;从多源异构图形、文本等材料学数据中挖掘有效信息,应用于新材料体系及性质预测、实用型材料发现等研究领域<sup>[19]</sup>。

2022年7月1日起实施的《机动车排放定期检验规范》(HJ 1237—2021)要求检验机构在外观检验区域及检测线上安装视频监控装置,拍摄外观检验及排气检测过程视频。生态环境主管部门为约束机动车检验机构,确保其规范开展机动车排放检验,会随时远程调阅视频监控录像。然而,目前视频抽查只能依赖人工审核,效率低,且审核人员可能会出现疲惫状况,影响审核的准确性。

机动车遥感监测系统可以实时采集超标车辆的排放数据、照片、车牌以及黑烟车短视频等,但需要满足天气、测量场地、车况、车辆行驶工况等诸多限制条件。例如:测量路面应视野良好,且为平整的长上坡道路;室外相对湿度不超过90%;遇雨、雾、雪、明显扬尘或风速大于5.0 m/s等天气时,则无法准确获取数据<sup>[20]</sup>。另外,机动车遥感监测系统在实际应用过程中普遍存在检出率不高(一项或几项参数无法测出)的情况,导致数据有效性不高<sup>[21]</sup>。因此,将遥感监测数据作为处罚超标车辆依据时,通常需要人工二次审核。

机动车检测过程视频、数据及报告,机动车遥感监测数据,黑烟车抓拍视频及照片等具有海量性、多样性、高时效性、高价值性等大数据特征<sup>[17]</sup>,有较高的机器学习模型应用潜力,因此,可通过建立算法,解析视频及图片数据,识别违规行为,找出规律并从中学习,最终实现自动化审核,从而有效减少人工投入,大力提高监管效率,降低监管成本。

### 2.1.2 图像识别

图像识别是一种捕捉、处理、检查、理解图像的方法<sup>[22]</sup>,原理为通过图像采集终端获取图像数据文件,经过智能算法分类提取物体特征,排除多

余信息干扰后,对图像内容进行客观判断<sup>[23-24]</sup>。不同的应用场景对应不同的图像识别类型及算法框架,例如二维图像识别技术对应文字识别、身份证识别、银行卡识别、名片识别等,三维图像识别对应人脸检测、物体检测和行为检测等。

生态环境部等发布的《柴油车污染物排放限值及测量方法(自由加速法及加载减速法)》(GB 3847—2018)、《汽油车污染物排放限值及测量方法(双怠速法及简易工况法)》(GB 18285—2018)要求,新生产车辆在注册登记前应检查污染控制装置与环保信息随车清单是否一致;《机动车排放定期检验规范》(HJ 1237—2021)要求,对在用车进行外观检验时,同样需要开展污染控制装置与环保信息公开内容一致性检查。机动车环保信息清单中列明的环保关键零部件因车辆类型、排放等级的不同而不同,且不同生产企业生产的同一功能环保零部件的外观、型号、安装位置也各有不同。因此,一致性查验过程的照片采集量大,依赖人工,查验效率低。此外,检测站检测人员受到专业能力水平的限制,加之流动性较大,难以保证查验质量。

随着人工智能算法支撑下的图像识别技术的逐步成熟,若能对大量车辆环保关键零部件进行取样分析,形成图像数据库,建立识别审核算法,不仅能够自行对比分析车辆零部件与公开信息是否一致,及时做出结果判定,还可以形成技术指导指南,辅助人工检查,有利于实现管理机制闭环,提高管理效率,降低监管成本。

## 2.2 大数据分析技术在机动车排放监管中的应用场景

当前,数据成为继土地、劳动力、资本、技术之后最活跃的生产要素,而中国是当前世界上产生和积累数据体量最大、类型最丰富的国家之一。大数据分析技术通过在庞大的数据堆中准确抓取有效信息,以数据挖掘算法为核心,最终实现可视化分析、实时分析、预测性分析以及对数据质量的管理,极大地提高了数据处理效率。

近年来,各地积极探索运用数字化、智能化手段加强机动车排气污染防治,建立了一系列信息化污染防治监管系统,但相关系统通常只进行常规数据统计分析、异常数据预警等初级数据挖掘应用,且各业务系统间不能有效共通共享数据,距离实现数据支撑决策、辅助监管还有差距。因此,有必要深入推进大数据分析技术应用,建设机动

车污染防治辅助决策系统<sup>[25]</sup>。

首先,要建设机动车污染防治大数据资源库,支持数据采集、数据整合、数据共享。以机动车全生命周期管理为中心,梳理各类监管对象(车辆、用车大户、环保检验机构、加油站等)对应的业务系统,实现“一车一档、一企一档”,建立系统化、规范化、全面化的机动车监管档案库。

其次,要实现智慧查询与数据深度挖掘。设置查询入口,分级呈现各类监管对象,建立实时化、层次化的违法行为排名统计、违法次数统计、预警分析等功能,及时准确掌握机动车污染状况,同时实现预估和判断;实现多口径交叉分析,构建高排放车辆电子台账,建立高排放车辆全生命周期跟踪监管体系<sup>[26]</sup>。

再次,要形成机动车污染防治辅助决策体系,实施精细化环境监管。对于超标/违法车辆,倒追所涉环保检验机构、物流企业、生产企业、销售企业或维修企业等的责任;进行超标/违法车辆信息阶段性汇总,对出现多次超标/违法的具体车辆、用车大户、车辆型号、车辆品牌(相应车辆生产/销售企业)强化检查力度,建立重点监管企业名单、机动车超标排放品牌和车型信息数据库,为现场巡查和精准执法提供依据;对环保检验机构、维修企业等进行监督检查,及时发现作弊行为,为环保检验机构及维修企业信用评级提供数据支撑;根据 OBD 远程在线监控平台预警信息和车辆定位信息,对问题车辆集中停放地开展入户检查;对于远程在线监控终端联网且排放达标的重型柴油车,生成可免于定期上线排放检验的白名单;通过融合超标车辆定位、实时道路污染排放、城市空气质量等多源数据<sup>[27]</sup>,动态优化执法布局,优化减排路径,有效提高机动车污染物排放量削减预测能力和预警决策能力。

最后,要进一步丰富各类空气污染治理衍生应用。充分利用机动车大数据资源,支持未来其他场景应用,如车辆数据资源估算、能源供给合作、车货匹配、金融保险服务等<sup>[11]</sup>,推动多领域蓬勃发展。

### 3 结语

本研究系统分析了现代城市机动车污染监管现状与特征,提出可建设以人工智能与大数据分析技术为驱动的“天地车人”一体化监管体系。

利用机器学习模型实现机动车检测过程视频、数据及报告,机动车遥感监测数据,黑烟车视频、照片自动化审核;借助人工智能图像识别技术实现车辆环保零部件检查及管理场景去人工化;深化大数据分析技术应用,建设机动车污染防治大数据资源库,构建机动车污染防治辅助决策体系。将人工智能技术和大数据分析技术应用于机动车污染管控工作是现代信息技术快速发展的必然趋势,既顺应国家数字化治理政策方针,也有利于推动实现智慧决策、智慧监管、智慧执法,提升机动车污染监管效率,提高机动车污染治理效果,丰富空气污染治理衍生应用。尽管目前距离全面实现机动车污染防治数字化转型还有很长的路要走,但是随着人工智能技术和大数据分析技术的发展和应用,以及动态智能算法的优化和升级,机动车污染控制领域的数字化革新时代终将到来。另外,未来要实现机动车污染防治数智化管理,不仅需要更新技术,更需要加强对业务需求和应用场景的深入理解。只有将数字技术与管理运营相融合,才能实时精准监测污染排放路径,提高能源和资源利用率,实现绿色可持续发展。

### 参考文献(References):

- [1] 生态环境部. 中国移动源环境管理年报(2020) [EB/OL]. (2020-08-10) [2023-04-05]. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/ydyhjgl/202008/P020200811521365906550.pdf>.
- [2] 生态环境部,国家统计局,农业农村部. 第二次全国污染源普查公报 [EB/OL]. (2020-06-16) [2023-04-10]. [https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/rdzl/wrypc/zlxz/202006/t20200616\\_784745.html](https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/rdzl/wrypc/zlxz/202006/t20200616_784745.html).
- [3] 史双昕,杨文龙,董亮,等. 我国移动污染源废气排放执法监管体系研究 [C]//中国环境科学学会. 第二十五届大气污染防治技术研讨会论文集. 北京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司,2021:7-12.
- [4] 范武波,陈军辉,钱骏,等. 机动车尾气对人体健康的危害 [J]. 中国环境管理,2016,8(1):110-113. FAN Wubo, CHEN Junhui, QIAN Jun, et al. Effects of Vehicle Emissions on Human's Health [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2016, 8(1): 110-113.
- [5] 顾天奇,包渊秋,庄楚天,等. 双碳场景下机动车管控单元识别及碳减排模型——以苏州古城为例 [J]. 城市规划,2022,46(S1):104-112.

- GU Tianqi, BAO Yuanqiu, ZHUANG Chutian, et al. Vehicle Control Unit Identification and Decarbonization Model Under Carbon Peak and Carbon Neutrality Scenario: Taking Suzhou Old Town as an Example[J]. *City Planning Review*, 2022, 46(S1): 104-112.
- [6] 周俐峻, 俞美香, 丁剑. 江苏省机动车“天地车人”一体化监控系统建设研究[J]. *环境监测与预警*, 2020, 12(1): 56-59, 62.  
ZHOU Lijun, YU Meixiang, DING Jian. Study on the Construction of the “Air-Ground-Vehicle-People” Integrated Monitoring System in Jiangsu Province [J]. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 2020, 12(1): 56-59, 62.
- [7] 马冬, 尹航. 大数据建设助推机动车环境管理[J]. *中华环境*, 2019(9): 20-23.  
MA Dong, YIN Hang. Big Data Construction Boosts Motor Vehicle Environmental Management[J]. *China Environment*, 2019(9): 20-23.
- [8] 李成坤. 关于信息化手段解决城市机动车尾气超标治理难题的思考[J]. *数码世界*, 2018(6): 151-152.  
LI Chengkun. Thoughts on Solving the Problem of Urban Motor Vehicle Exhaust Exceeding the Standard Through Information Technology [J]. *Digital Space*, 2018(6): 151-152.
- [9] 李晓斌, 李毓勤, 刘颖, 等. 大数据驱动的移动源综合监管平台研究[C]//中国环境科学学会. 2020中国环境科学学会科学技术年会论文集(第一卷). 北京:《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司, 2020: 1 273-1 277.
- [10] 袁静. 大数据在机动车污染治理中的应用[J]. *中国资源综合利用*, 2020, 38(4): 154-155.  
YUAN Jing. Application of Big Data in Motor Vehicle Pollution Control [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2020, 38(4): 154-155.
- [11] 何巍楠, 张少君, 韩媛, 等. 基于智慧环保治理思路的现代城市交通污染治理研究[J]. *环境保护*, 2022, 50(10): 66-72.  
HE Weinan, ZHANG Shaojun, HAN Yuan, et al. The Investigation of Governing Urban Traffic Pollution Based on Intelligent Environmental Protection [J]. *Environmental Protection*, 2022, 50(10): 66-72.
- [12] 陶永亮, 高金莎. 人工智能技术特点与创新模式研究[J]. *科技创业月刊*, 2022, 35(11): 1-5.  
TAO Yongliang, GAO Jinsha. Research on the Characteristics and Innovation Model of Artificial Intelligence Technology [J]. *Journal of Entrepreneurship in Science & Technology*, 2022, 35(11): 1-5.
- [13] 赵冠瑛. 论当代人工智能的技术特点及其对劳动者的影响[J]. *通讯世界*, 2018(8): 224-225.  
ZHAO Guanying. Discussion on the Technical Characteristics of Contemporary Artificial Intelligence and Its Impact on Workers [J]. *Telecom World*, 2018(8): 224-225.
- [14] 邱昀, 姜磊, 李金香, 等. 深度学习在裸地扬尘源监测中的应用研究[J]. *中国环境监测*, 2023, 39(S1): 72-79.  
QIU Yun, JIANG Lei, LI Jinxiang, et al. Research on the Application of Deep Learning in Monitoring Dust Sources in Bare Land [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2023, 39(S1): 72-79.
- [15] 李璠, 何丛颖, 李毅, 等. 基于机器学习的浮标实时自动化赤潮预警研究[J]. *中国环境监测*, 2023, 39(4): 196-205.  
LI Fan, HE Congying, LI Yi, et al. Research on Real-Time Automatic Red Tide Warning of Bathing Buoy Based on Machine Learning [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2023, 39(4): 196-205.
- [16] 冯蓉. 机器学习算法在数据挖掘中的应用[J]. *中国高科技*, 2022(20): 30-32.  
FENG Rong. Application of Machine Learning Algorithms in Data Mining [J]. *China High and New Technology*, 2022(20): 30-32.
- [17] 张珑慧, 林德海, 王颖, 等. 机器学习在火电厂 NO<sub>x</sub> 减排中的应用综述[J]. *热力发电*, 2023, 52(1): 7-17.  
ZHANG Longhui, LIN Dehai, WANG Ying, et al. Review of Applications of Machine Learning in Nitrogen Oxides Reduction in Thermal Power Plants [J]. *Thermal Power Generation*, 2023, 52(1): 7-17.
- [18] 于航, 谭炳香, 沈明潭, 等. 基于机器学习算法的机载高光谱图像优势树种识别[J]. *自然资源遥感*, 2024, 36(1): 118-127.  
YU Hang, TAN Bingxiang, SHEN Mingtan, et al. Identifying Predominant Tree Species Based on Airborne Hyperspectral Images Using Machine Learning Algorithms [J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2024, 36(1): 118-127.
- [19] 施思齐. 机器学习在材料研发中的应用[J]. *硅酸盐学报*, 2023, 51(2): 366.  
SHI Siqi. Application of Machine Learning in Materials Research & Development [J]. *Journal of the Chinese Ceramic Society*, 2023, 51(2): 366.
- [20] 生态环境部. 在用柴油车排气污染物测量方法及

- 技术要求(遥感检测法);HJ 845—2017[S].北京:中国环境科学出版社,2017.
- [21] 张英良.西安市在用机动车遥感监测排放限值标准的研究[D].西安:西安工程大学,2017.
- [22] 汪勇.人工智能算法下图像识别技术的应用[J].电子技术与软件工程,2022(21):180-183.  
WANG Yong. Application of Image Recognition Technology Under Artificial Intelligence Algorithm [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2022(21):180-183.
- [23] 李丽亚.人工智能中图像识别技术的发现与应用研究[J].长江信息通信,2022,35(1):134-136.  
LI Liya. Research on the Discovery and Application of Image Recognition Technology in Artificial Intelligence [J]. Changjiang Information & Communications, 2022,35(1):134-136.
- [24] 李敏.图像识别技术在人工智能中的应用探究[J].中国新通信,2022,24(16):74-76.  
LI Min. Research on the Application of Image Recognition Technology in Artificial Intelligence[J]. China New Telecommunications, 2022, 24(16):74-76.
- [25] 袁祚涌,肖平.运用大数据推动机动车污染防治工作的建议[J].城市建设理论研究,2018(19):98,102.  
YUAN Zuoyong, XIAO Ping. Suggestions on Using Big Data to Promote Vehicle Pollution Prevention and Control [J]. Theoretical Research in Urban Construction, 2018(19):98,102.
- [26] 蔡旺华.一体化的机动车污染防治监管信息系统建设与应用研究[J].环境科学与管理,2017,42(12):6-9.  
CAI Wanghua. Construction and Application of Integrated Motor Vehicle Pollution Prevention and Control Information System [J]. Environmental Science and Management, 2017,42(12):6-9.
- [27] 易敏.上海市机动车污染实时排放预警系统设计与应用[J].中国环境监测,2020,36(2):225-234.  
YI Min. Design and Application of Real-Time Vehicle Emission Measurement Information System in Shanghai [J]. Environmental Monitoring in China, 2020,36(2):225-234.